



TITLE:

# Black hole microstates with a new constituent( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

Park, Minkyu

---

CITATION:

Park, Minkyu. Black hole microstates with a new constituent. 京都大学, 2018, 博士(理学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k20907>

RIGHT:

( 続紙 1 )

京都大学	博 士 ( 理 学 )	氏名	朴 敏奎
論文題目	Black hole microstates with a new constituent (新しい構成要素を含んだブラックホールの微視的状态について)		
(論文内容の要旨)			
<p>ブラックホールの興味深い性質の一つとして熱力学の法則に従うということが挙げられる。その際ブラックホールのエントロピーはその地平面の面積に比例するが、どのようにすればこれを微視的観点から統計力学的に説明できるのかが問題となる。超弦理論においては、未だ幾つかの特別な場合に限られるが、ホログラフィー原理を通じて対応するDブレーンの状態数を勘定することでエントロピーが再現され、超弦理論の大きな成功の一つと考えられている。しかし一般の場合、あるいはホログラフィー原理に依存せずに、どのように微視的状态を理解するかに関しては、依然としてあまり分かっていない。これに対してMathurは、弦理論の枠組みにおいては、遠方からブラックホールのように見える時空が、実は地平面も特異点も持たない時空であり、微視的状态は地平面と思われていた半径程度の領域に広がる、同じ質量、電荷、角運動量を持つ多くの異なる配位で、それらがエントロピーを再現するとする仮説、「ファズボール仮説」を提唱した。この仮説が正しいとするとするなら時空の地平線は存在せず、いわゆるブラックホールの情報喪失問題も同時に解決されることになる。彼は実際に余次元をコンパクト化した超重力理論において多くの解を構成して見せたが、実際にエントロピーを再現するだけの解を構成するには至らなかった。そこで、具体的に超重力理論の古典解を構成することを通じてファズボール仮説の真偽を明らかにする試みが始まり、現在、「微視的状态幾何学プログラム」と名付けられている。</p> <p>一般に超弦理論は無数個の局所場を含み、その古典解は超弦の場の理論の運動方程式を解くことで得られる。しかし超対称性を保つような場合に限るなら、質量を持つ場が分離するため低エネルギー有効理論である超重力理論を考えれば良いと考えられる。本論文は、微視的状态幾何学プログラムの一環として、このような状況を考え、M理論を6次元トーラスにコンパクト化して得られる(1+4)次元の超重力理論を、局所的に(1+3)次元と1次元トーラスとみなせる空間上で考察し、エネルギーが3次元空間上に1次元(チューブ)的に分布しているような(即ち余次元2の)超対称(BPS)「ブラックホール」解の具体的な構成を試みている。一見不自然に思われるこのようなエネルギー分布は、超弦理論においてはごく自然に弦やブレーンの分極現象として現れる。このチューブ的な分布はある種の「電荷」を持ち、対応する「ゲージ場」は、一般に、その周りを一周した時に元の値に戻らない。しかしこの多価性が超弦理論の対称性であるU-双対性で消されるようなものであれば、多価解でも超弦理論の古典解として許される(一価の)解と考えることができる。しかしチューブ解は非常に複雑なため一般的な構成は困難であるため、ここでは比較的簡単な設定から段階を踏んだ解の構成が試みられる。このようにチューブ解の構成が複雑になる理由として、既に触れたように、余次元2のソースが一般には非自明なモノドロミーを持つ点にある。ここでは最初に古典解を求めることが8つの調和関数を求めることに帰着できることを示した後、まず最も簡単な場合として各ソースが互いに可換なモノドロミーを持つ場合について考察し、多チューブ解やチューブと点ソースが混在する解などを具体的に構成す</p>			

る。続いて個々のチューブが互いに非可換なモノドロミーを持つ場合の簡単な具体例として、ほとんど同じ半径をもつ同心円形で、互いに非可換なモノドロミーを持つ二つのチューブの場合が考察される。この場合二つのチューブが十分近い状況では、円周と直交する2次元の調和関数を求める問題に帰着され、よく知られた4次元 $N=2$ 超対称ゲージ理論の真空を記述する、いわゆるサイバーグ・ウィッテン解に現れる調和関数を用いて解を構成することができる。この解をチューブから十分離れた領域まで接続し、遠方で正しい振る舞い（モノドロミー）を持つように要請することで、最終的な解を構成する。

(論文審査の結果の要旨)

Bekenstein が、ある種の熱力学的考察から、ブラックホールはエントロピーを持つと考えられることを指摘し、Hawking によって対応する温度を持つ輻射を放出していることが示されて以来、これを微視的状态数の数え上げから再現することは長い間の未解決問題であった。Strominger と Vafa は超弦理論の双対性(ホログラフィー原理)をうまく用いることでDブレーンの状態をブラックホールの微視的状态と対応させ、これを数え上げることでブラックホールのエントロピーを再現することに成功した。このことは超弦理論が量子重力理論の正しい記述であることを支持する大きな成功と考えられ、幾つかの同様の研究が成されたが、どれも双対性の議論が成り立つ特別な条件を満たす場合に限定されているのが現状である。

そこで Mathur は双対性の議論に頼らず、超重力理論の古典解の勘定からエントロピーを再現できるとするファズボール仮説を提唱した。いわゆるブラックホールの情報喪失問題も同時に解決するこの仮説の真偽を確かめることは重要な問題と考えられ、微視的状态幾何学プログラム(Microstate Geometry Program)が生まれることとなった。本論文の内容は、このプログラムの一環に位置づけられ、査読のある学術誌に掲載された二本の共著論文の内容を、申請者の寄与を中心として書き下ろされたもので、同プログラムに重要な寄与を与える非常に価値のあるものと評価することができる。

具体的には、 $N=2$ の5次元超重力理論を考え、空間4次元をギボンズ・ホーキング空間にとることで更に1次元をコンパクト化した4次元理論を出発点とし、超対称性を保つ古典解は8つの調和関数の構成に帰着することが示される。これら調和関数としては、これまでは点状のソース(余次元3)を記述する多中心解が求められていたが、これだけではエントロピーを説明するには不足していた。この論文の新しい点は、超弦理論に特有なある種の分極効果の結果として1次元的(余次元2)なソースが存在し得る点に着目し、エントロピーの不足を埋める可能性として、1次元的ソースを記述する調和関数(チューブ解)の構成を試みている点にある。

本博士論文では、まず最も簡単な場合として各ソースが互いに可換なモノドロミーを持つ場合について考察され、多チューブ解やチューブソースと点ソースが混在する解などが具体的に構成される。続いて個々のチューブが互いに非可換なモノドロミーを持つ場合の簡単な具体例として、二つの互いに非可換なモノドロミーを持つチューブがほとんど同じ半径を持つ同心円状に分布する場合の非可換チューブ解が構成される。

以上の成果は、エントロピーを説明する微視的状态の新しい可能性を具体的に示したものであるとして、高く評価されるべきものである。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成30年1月15日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日：                      年                      月                      日以降